

Anhang 12

Zum Super-Ikonoskop IS 9

...Die als Vorsatz (»Vorschuh«) auf den Bug des Flugkörpers gesetzte Fernsehkamera »Tonne A« besaß als Bildabtaströhre das Superikonoskop IS9. Hierin wurde das vom Kameraobjektiv auf eine Cäsium-Fotokathode oder Mosaikplatte vom Format ca. 7 x 9 mm projizierte optische Bild (Ziel) elektronenoptisch durch einen Elektronenstrahl mit Hilfe einer magnetischen Linse als Sendebild abgetastet [...] Das Ikonoskop war eine Abart der Kathodenstrahlröhre. Anstelle des Leuchtschirmes besaß es im Inneren seines evakuierten Glaskolbens G eine Cäsium-Fotokathode (Mosaikplatte). Sie bestand einerseits aus einer fein unterteilten lichtelektrisch wirksamen Schicht S und andererseits aus einem metallischen Signalplättchen M. Die Schicht S setzte sich aus vielen feinen, tropfenförmigen, elektrisch voneinander isolierten Fotozellen zusammen. Die Zellen waren unter Zwischenlage einer Isolierhaut auf dem Plättchen M aufgebracht, das wiederum über den Widerstand R mit der Absaugelektrode A elektrisch verbunden war.

Wie in jeder Kathodenstrahlröhre wurde auch im Ikonoskop ein Elektronenstrahl E mit Hilfe einer elektrisch geheizten Kathode K erzeugt. Die aus der Kathode austretenden Elektronen wurden durch ein nachgeschaltetes elektrisches Linsensystem H zu einem scharfen Strahl gebündelt. Ehe der Strahl auf die Fotokathode traf, mußte er zwei waagrecht liegende Platten P1, P2 und zwei senkrecht angeordnete Ablenkplatten P3, P4 passieren. Die beiden Platten P1, P2 waren mit dem Kippgerät KG1 und die Platten P3, P4 mit dem Kippgerät KG2 verbunden. Beide Kippgeräte hatten die Aufgabe, den Elektronenstrahl über die Ablenkplatten durch Spannungsimpulse bestimmter Frequenz so zu beeinflussen, daß er die Fotokathode – z. B. beim damaligen Ikonoskop IS9 – mit einem senkrecht liegenden 224zeiligen Raster überzog.

Nach Beendigung einer Bildflächenabtastung mußte dieser Vorgang entsprechend der Bildfolgefrequenz von 25 Hz nach 1/25 sec wieder erfolgen, bis in 1 sec die Fotokathodenfläche 25mal abgetastet war. Um das zu erreichen, wurde den Ablenkplatten P3, P4 vom Kippgerät KG2 eine Spannung von 25 Hz (Kippspannung) und den Ablenkplatten P1, P2 vom Kippgerät KG1 eine Spannung von $25 \times 224 = 5600$ Hz zugeführt.

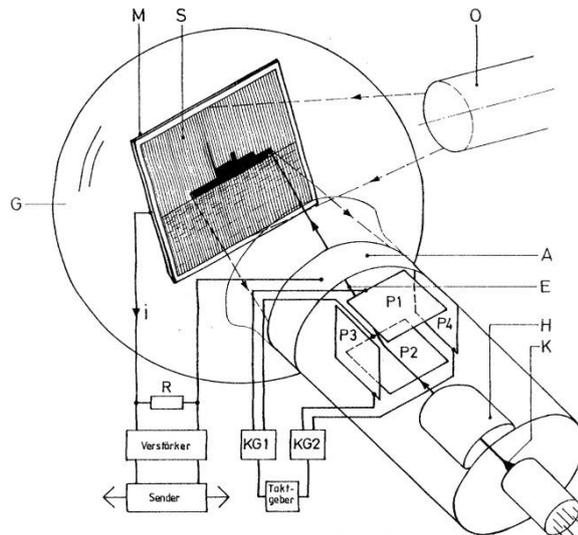


Bild 199

Prinzip der Elektronenstrahlabtastung

in einem Ikonoskop

Sofern das optische Bild (Ziel) von Objektiv O der Kamera auf Schicht S projiziert wurde, erhielt jede Fotozelle eine der Helligkeit des jeweiligen Bildpunktes entsprechende Lichtmenge. Infolgedessen wurden in den Fotozellen – analog der Lichtmenge – Elektronen frei, die durch eine an die Anode A gelegte positive Vorspannung von S nach A abgesaugt wurden. Infolge des Elektronenverlustes wurde jede Fotozelle während der Bilddauer gegenüber der Anode A auf eine positivere Spannung aufgeladen, die dem Helligkeitswert der zugehörigen Bildpunkte entsprach. Die freigewordenen Fotoelektronen flossen in Form eines sich durch die mittlere Bildhelligkeit ändernden Gleichstromes zur Anode A. Dadurch bildete jede der kleinen Fotozellen mit der Metallplatte M, die keinem Elektronenabzug unterworfen war und demzufolge auch ein anderes Potential besaß, einen kleinen Kondensator. Glitt der Elektronenstrahl rasterförmig über die Fotokathode, konnte man ihm die Funktion eines »Umschalters« zuweisen. Sofern er eine Fotozelle traf, löste er einen Entladungsstoß des Elementarkondensators: Fotozelle – Platte M aus. Dessen Strom i floß über den Widerstand R zur Anode A. Die Stromstärke wurde durch die dem Helligkeitswert entsprechende Kondensatorladung bestimmt. An R entstand

also ein Spannungsabfall, der dem Helligkeitswert des abgetasteten Bildpunktes entsprach. Nach Beendigung einer Rasterabtastung, die $1/25$ sec dauerte, begann das Spiel von neuem. Am Widerstand R entstand also ein Spannungsprofil, das $1/25$ sec dauerte und dem Bildinhalt entsprach. Dieser Bildinhalt wurde verstärkt und zur Modulation der Trägerwelle des Fernsehsenders herangezogen (Stüwe S. 376/377)

Zunächst wird das vom Linsensystem des Kameraobjektivs gelieferte ‚optische‘ Bild auf eine Cäsium-Fotokathode von 7×9 mm projiziert, die aus einem dichten Raster feinsten, voneinander isolierter Fotozellen besteht (‚lichtsensible Schicht‘ in Bild 25). Sie liegt auf einem metallischen Signalplättchen, das von den Fotozellen durch eine sehr dünne Zwischenlage, gewissermaßen eine ‚Isolierhaut‘, getrennt ist. Das Signalplättchen ist seinerseits über den Widerstand R mit der Absaugelektrode verbunden.

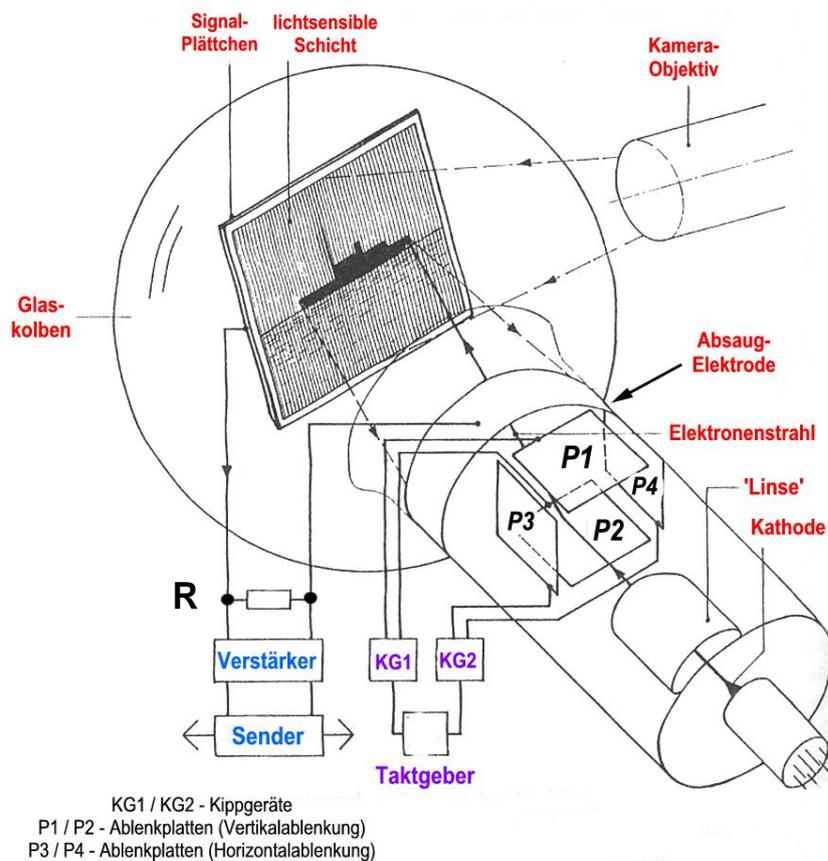


Bild 200

Schematische Darstellung einer Bildwandlerröhre

Entwicklung der Fernseh GmbH (1939)

Der von der Fotokathode emittierte Elektronenstrahl durchläuft zur Bündelung eine elektronenoptische Linse, die Kippgeräte KG 1 und KG 2 liefern die Ablenkspannungen, mit denen das auf das Signalplättchen projizierte Bild abgetastet wird. Das erfolgt mit Hilfe von Kippspannungen (‚Sägezahn‘) an den horizontalen und vertikalen Ablenkplatten.

Für ein ruhig stehendes Bild müssen wegen der ‚Verschmelzungsfrequenz‘ des menschlichen Auges mindestens 25 vollständige Bildwechsel erfolgen. Dafür werden P3 und P4 mit einer Kippspannung von 25 Hz angesteuert, P1 und P2 für 224 Zeilen mit $25 \times 224 \text{ Hz} = 5600 \text{ Hz}^4$. Hochinteressant sind die Vorgänge auf dem Signalplättchen. Mit der Projektion des optischen Bildes auf die fotosensible Schicht erhält jede diskrete darin befindliche Fozelle eine dem jeweiligen Lichtpunkt proportionale Lichtmenge, die in der Zelle eine entsprechende Zahl von ‚Fotolektronen‘ freisetzt⁵. Sie werden von der positiv vorgespannten Anode (Absaugelektrode) abgezogen. Der dadurch entstehende Elektronenverlust bewirkt, daß die einem Bildpunkt repräsentierenden Fozellen während der Bilddauer gegenüber der Absaugelektrode auf eine positivere Spannung aufgeladen werden, die jeweils dem Helligkeitswert eines einzelnen Bildpunktes entspricht. Gegenüber der Metallplatte und den ‚Elementarfozellen‘, die, wie erwähnt, durch eine dünne Isolierschicht von der Trägerplatte getrennt sind – sie kann daher keinen Elektronenverlust erleiden – bilden sich lokale Kondensatoren aus.

Tastet nun der Elektronenstrahl die Fotokathode rasterförmig ab, löst er nacheinander in jeder Fozelle einen Entladungsstoß aus, der im Widerstand einen Strom zur Folge hat, welcher zur Absaugelektrode fließt. Dabei ist der Strom dem Helligkeitswert des gerade durchlaufenden Bildpunktes proportional. Die durch den Strom an R erzeugte Spannung – sie entspricht natürlich ebenfalls dem Helligkeitswert des Bildpunktes – wird verstärkt, für Negativmodulation (Schwarzsteuerung) invertiert, so daß helle Bildteile einer niedrigen, dunkle einer hohen Spannung entsprechen, und anschließend unter Zwischenschaltung eines Video-Endverstärkers im Sender zur Modulation des Fernseh-Trägers verwendet. Nach $1/25 \text{ sec}$ ist ein vollständiges Bild geschrieben, der Vorgang läuft erneut ab. Zur Erzielung einer hohen Bildauflösung mußte der das Bild abtastende Elektronenstrahl scharf gebündelt werden. Bei der IS 9 wurden Bildfleckdurchmesser von 0.02 bis 0.04 mm erreicht (letzterer Wert bei stärkster Auslenkung des Strahls).

Es muß noch erwähnt werden, daß für die in der Hs 293 D verwendete Kamera (»Tonne«) zunächst eine automatische, mechanisch arbeitende Einstellung der Objektivblende vorgesehen war. Für ein schnellfliegendes Projektil erwies sie sich aber in Zielnähe als zu träge. Man ging deshalb zur oben erwähnten Negativmodulation mit anschließender automatischer Verstärkungsregelung über, bei der „unabhängig vom Helligkeitsumfang des Zielobjektes stets der ganze für die Bildübertragung zur Verfügung stehende Modulationsbereich durchgesteuert werden“ kann [Stüwe S. 379].

⁴ Bei später verwendeten Bildwandlerröhren wurden bei ebenfalls 25 Hz-Bildwechselfrequenz für ein besser aufgelöstes Bild 441 Zeilen geschrieben, Kippfrequenz in diesem Falle $25 \times 441 = 11\,025 \text{ Hz}$. Stüwe (S. 377) berichtet, dass zu Beginn der Entwicklung des »Tonne-Seedorf«-Systems die Kamera das Bild mit 224 Zeilen bei 50 Bildwechseln aufnahm, offenbar in diesem Falle auf das Zeilensprungverfahren, das ein schärferes Bild ergibt, verzichtet worden ist. Bei Anwendung des Zeilensprungverfahrens muss grundsätzlich von einer ungeraden Zeilenzahl ausgegangen werden!

⁵ Der Vergleich mit den modernen, in Digitalkameras eingebauten Bildsensoren ist nicht abwegig; das Prinzip ist in beiden Fällen gleich, die technische Realisation unterscheidet sich allerdings grundlegend.